

ダムによる水資源開発の論理とその問題点

Logic of Dam Construction for Water Resources Development and its Problems

伊 藤 達 也

I はじめに

近年、名古屋大都市圏では長良川河口堰や徳山ダム問題等、水資源開発事業をめぐる様々な議論が巻き起こっている。1990年代に入ると計画の見直しを求める市民グループと事業主体の建設省・水資源開発公団との間で、公開討論や円卓会議が開かれるようになり、筆者もその一部に参加し、建設省・水資源開発公団のスタッフと意見・情報の交換を行ってきた。そして、その中で計画を推進する側と批判する側の間に、単に推進・反対といった事業に対するスタンスの違いだけでは説明できない問題があることを強く認識するようになった。それは本来、議論の前提となるべき自然やダム・プランニングに関する事実認識、基本原理に対する理解の相違とでも言うべきもので、筆者にとっては、価値観や事業評価をめぐる立場の違いによって変わることのない事柄であった。

これまで長良川河口堰や徳山ダム問題に関する議論は、かけがえのない自然環境を将来世代へ引き継ぐことの重要性や、公共事業が当初の目的を失いながらも、存続していることに対する批判を市民グループが提起し、事業者がこれに答える形で続いている。こうしたテーマは今後も引き続き真剣な議論の継続が求められており、緊急テーマに関しては早急に何らかの対策が必要とされている。しかし、両者の間で事業目的の是非を考える際の事実認識や基本原理の理解が異なってしまうと、議論の土台そのものが失われてしまう。議論や対策を実りあるものにするためにも、これらの事実認識、基本原理を共

有する必要がある。本稿では、このような趣旨から、近年、建設省によってさらなるダム建設推進の根拠になっていると考えられる説明論理、それを支える指標、さらには指標の扱いの妥当性を検討していく。

II ダムによる水資源開発論理の問題点

1 建設省の説明論理

ダムを中心とした水資源開発の必要性は、都市用水の水需要が急増していた時期においては、比較的多くの人々の理解を得ていた¹⁾。しかし、水道用水の需要が安定し、工業用水に至っては大幅な減少を経験した現在、ダム建設を支える論理は大きく変容せざるを得なくなっている。近年、建設省はダム建設を中心とした水資源開発のさらなる必要性を訴えてはいるが、その根拠はこれまでの水需要増加への対応策から、異常渇水対策へと替わってきている。

確かに近年の少雨傾向の中、水源ダムが枯渇するほどの渇水状況が全国各地で見られるようになり、何らかの策を講じる必要性が増している。問題は、異常渇水対策の検討を中心になって行わなければならない建設省が、ダム建設による対策からほとんどスタンスを変えていないことであろう。異常渇水対策に関わる建設省の見解を論文や報告書から見ると、全体の論調は必ずしもダム建設による対策に偏っているわけではない²⁾。しかし、本来、一定の幅を有する異常渇水対策の選択肢が、長良川河口堰や徳山ダム問題の議論の場に提出される資料、1994年異常渇水の際に新聞等のマスコミを通じて流された情報の

中に入ってくると、他の選択肢はかすんでしまい、ダム建設が対策の最上位にランクされてしまう。

こうになってしまう原因の1つには、事業継続中のダム建設を、目的を替えてでも正当化し、早く事業を進めたい、という事業者側の想いが強く反映されているのであろう³⁾。しかし、筆者はもう1つの理由として、建設省スタッフの間に、わが国においてダムによる対策が他の異常洪水対策に比べて明らかに望ましい、という信念にも似た感情があることによる、と考えている。そして、以下に引用した文章は、そうした感情を支える根拠になっていると思われる。

「わが国は、世界でも有数の多雨地帯・アジアモンスーン地帯に位置し、年間平均降水量は約1,750mmで世界平均降水量約970mmの約2倍と恵まれています。しかし、狭い国土に人口が多く、一人当たりの降水量は、世界平均の1/6程度であり、決して豊富とは言えません。また、日本の降雨は梅雨期と台風期に集中しているため、河川の流況は不安定となり、水の利用可能量は低いものとなっています。

わが国の大都市の水資源開発状況を世界の主要都市と比較すると、その貯水量は極端に少ない状況となっています。

世界の主要都市の洪水発生状況が10年に1回の割合となっているのに対し、東京都が水源としている利根川の洪水は3年に1回起きており、早急に水資源開発事業を進める必要があります。欧米都市では、既往最大洪水や1/50の利水安全度を計画目標としていますが、日本は1/10と低く、今後、洪水対策ダム等の異常洪水対策事業を推進する必要があります。」

これは建設省河川局開発課によって発表された論文の一部である(建設省河川局開発課, 1994, p.19)。この文章に見られる説明論理は、建設省の他の論文、

報告書、資料の中に頻繁に現れるだけでなく(建設省中部地方建設局ほか, 1995)、国土庁の報告書にも使用されていることから(国土庁長官官房水資源部編, 1996)、政府行政機関がダムを中心とした異常洪水対策を進めていく際の基本的な論理になっていると考えられる。

2 論理の整理

建設省の説明論理を上述の文章と図表(一部後掲)から整理すると、以下の4点に分けることができる。

- ① わが国は降水量が多い。しかし、人口1人当たりの降水量は世界平均の1/6程度であり、水資源が豊富なわけではない。
- ② 日本の降雨は梅雨期と台風期に集中しているため、河川の流況は不安定となり、水の利用可能量は低い。
- ③ わが国の大都市がダムに有する貯水量は、人口1人当たりで比較すると、世界の主要都市に比べてわずかである。
- ④ わが国の水資源開発は1/10確率の安全性の下で行われている。それに比べて、他国は既往最大洪水から1/50確率と高い。

そして、この4点からわが国では都市部を中心に利水安全度が低く、水資源の確保が諸外国に比べて大きく遅れており、今後、洪水対策ダム等の異常洪水対策事業を進めていく必要がある、という結論になる。

しかし、筆者はこの説明論理の多くが、事実認識の誤りや現象の一部の過大評価に基づくものであると考える。従って、以下、Ⅲ章では①と②を、Ⅳ章では③と④について具体的な検討を行い、各項目の問題点を指摘する。そしてⅤ章では、説明論理の体系そのものが抱えている問題点について考察する。

Ⅲ 水資源量・水の利用可能性に関する説明論理の問題点

- 1 「わが国は降水量が多い。しかし、人口1人当りの降水量は世界平均の1/6程度であり、水資源が豊富なわけではない」について

表1は建設省がわが国の水資源量を考えていく場合の前提としている人口1人当りの降水量を各国別に見たものである。そしてここに表示された国別の値から、わが国が必ずしも水資源に恵まれているわけではない、という結論を導き出している。この指標に対する批判は以下の2点にまとめられる。

- (1) 水資源の豊かさを人口1人当りの降水量で比較することはおかしい

まず第1点は、人口1人当りの降水量によって各国の水資源量の比較を行うのは基本的におかしい、という点である。降水量は地表面や植物等を通じて空へ戻っていく蒸発散量と、河川へ流れ出てくる流出量に大きく分けられる⁴⁾。このうち、人間が何らかの手段を使って自らの利用目的に合わせて調節できるのは、流出量の方である。従って、私達が生活用

水、工業用水等を念頭において、水資源開発の基本的指標として認識すべきは、降水量ではなく流出量でなければならない⁵⁾。

わが国では流出量を水資源賦存量と言い換えて一般に使用している。表2は表1に表示された各国の水資源賦存量と人口1人当りの水資源賦存量を示したものである⁶⁾。これを見ると、オーストラリア、カナダ、アメリカ合衆国等、面積の大きな国々の1人当りの水資源賦存量は相変わらず大きいままである。世界平均もわが国よりも大きな値を示している。しかし、それらの値はいずれも1人当り降水量の値と比べた場合、わが国との差を大幅に縮めており、世界平均値に対するわが国の値の比率も1/6から1/2程度にまで縮小している。さらに、1人当り降水量でわが国よりも数値の大きかったサウジアラビア、フランス、中国、インドの1人当り水資源賦存量は、わが国の値を下回る。これはわが国に比べて、これらの国々の蒸発散割合が大きいことによる。

このように見ると、世界の主要国の中で、面積の大きな数カ国を除けば、わが国はむしろ水資源の豊かな国になる。もちろん、水資源賦存量を人口で割った1人当りの水資源賦存量で、各国の水資源の豊かさを考えていくことにも問題がないわけではない。しかし、1人当りの水資源賦存量で見なければ、サウジアラビアのように年間降水量が非常に少ない一方で蒸発散量が大きいために、地表に残る水がわずかで、水の確保に大変苦勞している国の現実を多少なりとも反映させることができる(内田、1993；レスター・R・ブラウン編、1996)。これを建設省のように、1人当りの降水量で他国と比較してしまうと、広大な国土面積と少ない人口が指標値に反映し、サウジアラビアは世界でも有数の水資源に恵まれた国になってしまう。

第1表 世界各国の降水量

国名	年間平均降水量 (mm)	人口1人当り 降水量 (ml)
オーストラリア	460	264,963
カナダ	522	228,099
ソ連	502	44,110
アメリカ合衆国	760	33,313
サウジアラビア	100	24,130
フィリピン	2,360	16,868
フランス	750	7,811
中国	660	7,651
インド	1,170	6,581
日本	1,749	5,529
イタリア	1,000	5,393
イギリス	1,064	4,579
西ドイツ	803	3,220
世界平均	973	33,975

注 建設省河川局開発課(1994)より引用。

第2表 世界各国の水資源賦存量（1990年代前半）

国 名	水資源賦存量 (10億 m ³)	人口1人当り 水資源賦存量 (m ³)
オーストラリア	343	18,963
カナダ	2,901	98,462
ロシア	4,498	30,599
アメリカ合衆国	2,478	9,413
サウジアラビア	5	254
フィリピン	323	4,779
フランス	198	3,415
中国	2,800	2,292
インド	2,085	2,228
日本	547	4,373
イタリア	167	2,920
イギリス	71	1,219
ドイツ	171	2,096
世界平均 ¹⁾	41,022	7,176
アメリカ合衆国本土地域	1,658	6,465
カリフォルニア州 ²⁾	95	3,054

注1 オーストラリアから世界平均までのデータはThe World Resources Institute et al(1996)より引用。

2 アメリカ合衆国本土地域とは、アメリカ合衆国からアラスカ州・ハワイ州を除いた地域を指す。アメリカ合衆国本土地域、カリフォルニア州の水資源賦存量データは建設省河川局河川計画課(1971)より引用。人口は二宮書店(1996)より引用。カリフォルニア州の水資源賦存量はカリフォルニア水資源地域のデータの置き換え。

(2) 利用可能な水資源は地域的にかなり限定される

2番目の問題点は、国土全域を単位にして降水量の大小を比較していることである。この点は水資源賦存量も同じ問題を抱えているため、以下では水資源賦存量で考えていく。水は土地と異なり、地域間で移転可能な資源である。しかし、移転可能な他資源と比較すると、単位重量当りの価格が低廉であるため、長距離の移転は経済合理性を持たない。わが国でもこれまで流域変更を伴う水資源開発事業が行われてきたが、そのほとんどは隣接流域をつないだ短距離の移転である(伊藤, 1993)。また、アメリカ合衆国では西部地域、特にカリフォルニア州を中心に大規模な流域変更を伴う水資源開発事業が行われてきたが、これまでアメリカ合衆国で行われた流域変更型水資源開発事業のほとんどは州内にとどまっている(Quinn, 1968; Micklin, 1985)⁷⁾。現在、

世界において国土全域が1つの水利システムとして有機的に機能しているのはイスラエルぐらいであろう(Kilot, 1986; 中澤, 1990)。

この点を多少なりとも明確にするために、表2にアラスカ州とハワイ州を除いたアメリカ合衆国本土地域とカリフォルニア州の水資源賦存量並びに人口1人当りの水資源賦存量を示した。これによれば、アメリカ合衆国本土地域の1人当り水資源賦存量は、合衆国全域の値の2/3程度に減少し、わが国との比も2.2倍から1.5倍程度まで縮小する。一方、カリフォルニア州の1人当り水資源賦存量は、わが国の値をも下回る。つまり、降水量や水資源賦存量を考察していく際の空間範囲をより現実に即した形に少し変えるだけで、指標値は大きく変わってしまうのである⁸⁾。

このように降水量や水資源賦存量を人口1人当りに換算して、国家レベルで比較してしまうと、地域的な気候条件と水利システムに規定される水資源問題がほとんど見えなくなってしまう、結果的に指標の説明力が失われてしまう。

2 「日本の降雨は梅雨期と台風期に集中しているため、河川の流況は不安定となり、水の利用可能量は低い」について

建設省はこの説明論理における河川流況の変動状況を示すために、河況係数という指標を用いて説明している。さらに、長良川河口堰の事業説明においては、具体的に木曾川や利根川とテムズ川、ドナウ川、ミシシッピ川の河況係数の比較を行い(表3)、国内河川の河況係数が外国の河川に比べて著しく大きいことが、水の利用可能量を低めていることを指

第3表 河況係数の比較

	河況係数	観測地点
ナイル川	30	カイロ
ドナウ川*	4	ウィーン
ライン川	18	バーゼル
セーヌ川	34	パリ
テムズ川*	8	ロンドン
ミシシッピ川*	3	セントルイス
コロラド川	46	国境
石狩川	68(573)	橋本町
北上川	28(159)	狐禅寺
利根川*	74(1,782)	栗橋
信濃川	39(117)	小千谷
木曽川*	106(384)	大山
淀川*	28(114)	枚方
吉野川	658(-)	中央橋
筑後川	148(8,671)	瀬ノ下

注 阪口ほか(1995)より引用。*は建設省中部地方建設局ほか(1995)で引用されている河川。
日本の河川は、1971-80年の10年間の河況係数の平均値、カッコ内は1980年までの最大流量と最小流量の比。海外諸河川は既往最大流量と最小流量の比を表しているものが多く、建設省による比較はカッコ内の値で行われている。

摘している(建設省中部地方建設局ほか、1995)。しかし、以下の理由によって、この説明論理は不十分である。

(1) 河況係数の大きさだけで、水の利用可能性を説明することはできない

まず、河況係数という指標について説明する。河況係数とは、河川の年間最大流量と最小流量の比であり、河川流量の季節変動の大きさを示す指標の1つである。建設省がわが国河川との比較に用いたテムズ川やミシシッピ川、ドナウ川といった欧米諸国の河川の多くは、地形や気候条件等から、河況係数が小さく、流況は安定している。一方、わが国の河川は流量の季節変動が激しいため、河況係数は著しく大きくなる。

ここで問題となるのは、河況係数によってその傾向を知ることができるのは、対象河川の水の利用可能割合であって利用可能量ではない、という点である。河況係数が小さいほど、流況は安定しているた

め、自然流況下での水利用可能割合は増加する。しかし、対象とする河川から取水可能な絶対水量は、第一に河川流量の大きさによって決まるため、いくら河況係数の小さな河川でも、年間の河川流量が少なければ、利用できる絶対水量は小さくなってしま

う。
従って、河川間の水利用可能量を比較するためには、まず河川の年間流量が明らかにされなければならない。その後、河況係数によって年間流量のどの程度の水が利用可能になるかという見通しが立ち、他河川との比較が可能となる。

(2) 河川流量と河況係数の扱い方

わが国河川の大きな特徴の1つに、流域規模に比べて河川流量の豊富なことが挙げられる(阪口ほか、1995;高山、1990)。これは比流量という指標の比較によって理解されよう。比流量とは当該河川の年間流量を流域面積で割ったもので、単位面積当りの河川流量を表す。表4には100km²当りの河川流量が比流量として示されており、わが国河川の比流量が海外諸河川に比べて、桁が1桁、乾燥地域を流れる河川に対しては2桁大きいことがわかる。表4には比流量、平均流量からそれぞれ算出された年間流量を載せてある。この値を見ると、国内河川の年間流量は、流域面積が1~2桁大きな海外諸河川にほぼ等しく、信濃川や石狩川の年間流量は、流域面積で5~6倍のセーヌ川や40倍前後のコロラド川の流量に匹敵することがわかる。

次に、河況係数を考慮に入れた国内河川と国外河川の比較を行ってみる。河況係数が大きくなる理由には、最大流量が大きい場合と最小流量が小さい場合がある。わが国の河川の場合は、明らかに洪水時に巨大流量が河川を流下するために河況係数が大きくなるのであって、最小流量や渇水流量は「日本の河川では渇水比流量でさえ、世界の主要河川の平水比流量にほぼ匹敵する値をもって」いるという指摘

第4表 河川流量の比較

	流域面積 (km ²)	長さ (km)	比流量 ¹⁾ (m ³ /s/100km ²)	平均流量 ²⁾ (m ³ /s)	年間流量(1) ³⁾ (100万 m ³)	年間流量(2) ⁴⁾ (100万 m ³)
長江	1,775,000	6,300	1.60	28,000	895,622	883,008
黄河	980,000	4,670	0.20	1,480	61,811	46,673
インダス川	960,000	2,900	0.84	6,700	254,306	211,291
メコン川	810,000	4,500	1.23	18,300	314,193	577,109
ナイル川	3,007,000	6,690	0.10	2,830	94,829	89,247
マレー川	1,080,600	2,590	0.034	740	11,586	23,337
ボルガ川	1,420,000	3,690	0.61	8,400	273,165	264,902
ドナウ川	817,000	2,860	0.92	6,430	237,037	202,776
ライン川	224,000	1,320	1.45	—	102,429	—
セーヌ川	77,800	780	0.72	—	17,665	—
テムズ川	12,600	405	0.64	—	2,543	—
ミシシッピ川	3,248,000	6,210	0.27	18,400	276,558	580,262
コロラド川	590,000	2,320	0.094	640	17,490	20,183
アマゾン川	7,050,000	6,300	2.90	175,000	6,447,535	5,518,800
石狩川	14,330	268	3.88	449	17,534	14,160
北上川	10,150	249	4.11	281	13,156	8,862
利根川	16,840	322	2.89	196	15,348	6,181
信濃川	11,900	367	5.12	465	19,214	14,664
木曽川	9,100	227	5.89	222	16,903	7,001
淀川	8,240	75	3.90	245	10,134	7,726
吉野川	3,750	194	4.18	93	4,943	2,933
筑後川	2,860	143	4.77	126	4,302	3,974

注1 流域面積、長さ、比流量は阪口ほか(1995)より引用。

2 国外河川の平均流量はThe World Resources Institute et al(1988)より引用。国内河川の平均流量は国立天文台編(1988)より引用。

3 年間流量(1)は表の値を次式に入れて算出した概算値である。

$$\text{年間流量(1)} = \text{流域面積} \times \text{比流量} \times 86,400 \times 365 / 100$$

4 年間流量(2)は表の値を次式に入れて算出した概算値である。

$$\text{年間流量(2)} = \text{平均流量} \times 86,400 \times 365$$

国内河川の場合、流量観測地点より下流域から流出する流量が含まれないため、年間流量(1)で推定された河川流量よりも少ない値となっている。

(高橋ほか, 1980) からわかるように、流域規模に比べれば、相変わらず大きな値を示す。

これらの事実に基づいて考察を進めていくと、わが国諸河川の河況係数の大きさをそのまま水の利用可能量の低さにつなげて説明できるのは、わが国河川と同程度の年間流量のセーヌ川や、それ以上の流量を有する河川との間においてであり、テムズ川等、流域規模が同程度またはそれ以下の河川との間では、この説明は成り立たないことがわかる⁹⁾。

テムズ川は流域面積や河川流路の長さで、わが国の信濃川や利根川と同規模の河川であるが、河況係数は小さく、流況は著しく安定している。従って、建設省のように、河況係数だけで水の利用可能量の

大きさを説明しようとする、テムズ川はわが国の河川よりも水の利用可能量が大きいという結論になってしまう。確かに年間流量のうち、ダムに依存しないで利用可能な水の割合は、テムズ川の方がわが国河川よりも大きくなるであろう¹⁰⁾。しかし、テムズ川の年間流量は信濃川や石狩川の1/5程度に過ぎず、月別に見た最小流量も信濃川、石狩川のそれをかなり下回っているのが実際である(大村, 1978)。

(3) テムズ川事例の一般化

テムズ川を例にした建設省の説明論理に対する筆者の批判は、すぐに反論されそうである。海外には建設省も比較対象に挙げているミシシッピ川やドナ

ウ川等、流域面積、河川流量の点でテムズ川とは比較にならないほど大規模な河川が数多く存在する。これら大河川をわが国諸河川と比較すると、平均流量、さらには最小流量において桁の異なるボリュームを示す。従って、これら諸河川の河況係数の小ささはそのまま大量の安定した河川流量を保証し、沿岸地域の水利用の安定性を高める。この点で、建設省はたまたまテムズ川という不適切な例を挙げたに過ぎないのであって、基本的な説明論理は適切であるという反論が可能である。しかし、これから述べるように、筆者はテムズ川を例外的な事例として片づけてよいとは考えていない。

ここでは建設省が自らの説明論理の一部で比較対象に用いているニューヨーク市とサンフランシスコ市を例に挙げる。ニューヨーク市は人口約800万人の大都市で、市域を流量の豊富なハドソン川が流れる¹¹⁾。しかし、ニューヨーク市は水質問題を理由にハドソン川を水源とはせず、ハドソン川支流とデラウェア川上流域にダムを造って水源手当をしている。水源ダム群の集水面積は約5,000km²に及ぶ¹²⁾が、ダム集水域の年間平均降水量は1,000mm~1,400mm、流出量は降水量の約2/3であることから(Weidner, 1974)、集水域の年間流出量はテムズ川を多少上回る程度であろう。一方、サンフランシスコ市は水源のほとんどをサン・ウォーキン川の支流トゥオラムニ川(Tuolumne River)に建設されたダム群に依存している(斉藤, 1979; 木下, 1984)。トゥオラムニ川の流量データやダム集水面積を知ることではできなかったが、本流のサン・ウォーキン川でさえ、年間流量が150億m³程度の河川であることから(杉尾, 1993)、ダム集水域の年間総流出量はわが国主要河川を大幅に下回ると思われる。

最後に、ドイツ・ルール地方の水源を見てみよう。ルール地方は地域内をライン川が流れている。しかし、同地方がライン川を水源として利用することはほとんどなく、水源のほとんどはライン川支流で流

域面積が4,500km²程度、年間流量、渾濁流量ともわが国主要河川に著しく劣るルール川に依存している(大橋, 1971; 肥田, 1979; 小林, 1988)¹³⁾。このように、年間流量や渾濁流量がわが国主要河川よりも劣る河川に依存した世界の主要都市・地域は、決してテムズ川流域に限られるわけではない。

ここで事例とした都市・地域では、現在、いずれも水源河川の渾濁流量を超えた水需要が発生し、ダム等の水資源開発を不可欠としている。もし、建設省の指摘するわが国諸河川の水利用可能量の小ささが、渾濁流量を超えた水需要量を指摘しているのならば、それは適切である。しかしその場合、わが国諸河川の可能量の小ささを強調する必要はない。自然条件だけで比較すれば、わが国主要河川は上述の河川よりも渾濁流量が豊かであり、都市用水需要だけならば、ほとんどの河川が渾濁時にも十分な水供給を行うことができる。それにも拘らず、わが国で都市用水需要を中心とした水資源開発が必要とされたのは、わが国河川の渾濁流量の多くを農業用水が占有してきたという歴史的事実が存在するからであり、そうした社会的要素を組み込まず、しかも、河況係数の大きさだけでわが国の水利用可能量の小ささを説明することには、明らかに無理がある。

(4) 大河川を水源とする場合の条件

世界の主要都市の依存する水源は関連地域の気象条件や、河川・湖沼、さらには地下水の分布状況によって異なる。その中にはミシシッピ川やドナウ川等、非常に流量が豊富でしかも流況の安定している河川に依存している都市も数多くあるだろうし、その場合、河況係数の小ささと水の利用可能量の大きさは一致するであろう。しかし、そうした大河川を水源として利用する場合にも、以下のようにクリアしなければならない条件が存在する。

第一は前節で指摘した水利システムの空間的制約の問題である。河川流量の多い本流や支流に近い立

地を行っている都市は、水源へのアクセスが距離的に容易で、コスト面でも合理的な対応が可能である。しかし、そのような行動が可能な都市は空間的に限られており、たとえ、河川流量が大量に存在する流域内に立地する都市でも、流量豊富な河川流路から遠く隔たっていれば、簡単にその恩恵を受けることはできず、利用するためには大規模な導水事業が必要になる。大規模導水事業はダム開発同様、巨大なコストを必要とし、かつ自然を大幅に改変する事業である。従って、経済面、さらには環境面において、ダム開発と同様の制約を受けると考えるべきであろう¹⁴⁾。

さらに、この問題を助長するものとして、河川水をめぐる都市、地域、国家間の対立がある。河川流域の規模が大きくなれば、その河川を水源として考える都市、地域、国家の数が増加し、水利用をめぐる調整は複雑かつ困難になる場合が多い。複数の国家や地域を流れる河川の場合、目の前を流れている水だからといって、勝手に取水することは許されない。一方、ニューヨーク市やルール地方のように水質問題から取水を避ける行動に出ることもある。従って、流域面積が大きく、流量豊富な河川といえども、容易に水利用が可能であると判断することはできないであろう。

第5表 人口1人当たりダム貯水量の比較

都市名	人口1人当たり ダム貯水量 (m)	年次
サンフランシスコ	527	1982-84年
ニューヨーク	285	1982-84年
パリ	94	1982-84年
ロンドン	35	1982-84年
東京都	29	1990年
福岡市	21	1990年
四国（フルプラン地域）	11	1990年
大阪市	80	1990年
名古屋圏（フルプラン地域）	7	1990年

注 建設省中部地方建設局ほか(1995)より引用。

IV わが国の水資源開発水準に関する説明論理の問題点

- 1 「わが国の大都市がダムに有する貯水量は、人口1人当たりで比較すると、世界の主要都市に比べてわずかである」について

建設省は、わが国大都市の1人当たりダム貯水量の値が世界の主要都市に比べてわずかであるという説明によって、わが国はダムによる水資源開発が不十分であることを述べている。ここで言われている1人当たりのダム貯水量とは、ダム貯水量のうち、上水道に割り当てられた貯水量を都市人口で割ったものであり、以下の式で表される。

1人当たりダム貯水量＝

$$\frac{\text{ダム貯水量のうちの上水道割り当て貯水量}}{\text{都市人口}}$$

この指標で国内外の都市を比較すると、国内諸都市の値が低く、国内では名古屋圏の値がさらに低く示される（表5）。

- (1) 式の分母を都市人口とするのはおかしい

人口1人当たりダム貯水量という指標の問題点の1つは、式の分母を都市人口にしている点である。都市水道の水源にはダム貯留水の他に、河川自流水、地下水等がある。従って、ダム貯留水だけが都市の

水源であると見なす指標によって都市の渇水対応能力を測定することはできない。ダム以外の水源に100%依存した都市には、この指標は全く役に立たず、水源の一部しかダムに依存していない都市では、ダム依存率の低下に伴い、指標値は小さくなってしまう¹⁵⁾。

表5に示された都市の水源を具体的にみていくと、ニューヨーク市やサンフランシスコ市が水源のほぼ100%をダムに依存しているのに対して、東京

都、名古屋圏ともダム依存率は1/3を少し超える程度である¹⁶⁾。従って、名古屋圏等の指標値は必然的に低めに表わされてしまう。従って、建設省がこの指標による比較を続けたいのならば、まず、式の分母を都市人口からダム依存人口に置き換えることが必要である。

次に統計上の都市人口値に関する問題が存在する。わが国の人口統計はかなり正確であるが、諸外国の統計は必ずしもそうではない。例えば、ニューヨーク市には住民登録しておらず、統計に表れてこない住民が約150万人いると言われている(安部, 1981)。従って、統計から漏れる居住者の多い都市では、より正確な居住者数を把握して人口を定めないと、1人当りダム貯水量の値が過大に算出されてしまう。

(2) ダムの開発特性はダムごとに異なる

次に式の分子に当るダム貯水量について検討する。ダムによる水資源開発機能を保証するのは、開発水量の安定供給を目的とした貯水容量の確保であるから、ダム貯水量は開発水量との関係で理解される必要がある。この関係を決定する要因は大きく次の2つに分けられる。1つはダム建設の前提となる水資源開発計画が、開発水に対してどの程度の利水安全度を与えているかであり、もう1つはダムの建設される河川において、ダムが河川流量のどの部分の水を開発水として獲得しているかである。

前者から見ていく。水資源開発計画は建設コストによる制約等から、無限に利水安全度の高いダムを建設することはできない。従って、様々な条件を考慮した上で計画対象となる渇水規模が定められ、それに対応したダム貯水量が決定される。わが国の場合、10年に1回程度発生する渇水規模を対象とした水資源計画を策定しているが、アメリカ合衆国やイギリスでは50年に1度発生する渇水や既往最大渇水を対象とした計画が立てられている。計画対象の渇水規模が大きくなれば計画の前提となる河川流量

が減少することから、ダムはより多くの補給水を供給しなければならず、より大きな貯水量が必要となる。従って、他の自然的、社会的条件が等しく同一の開発水量を有するダム間の場合、利水安全度の高いダムの方が明らかに大きな貯水量を持つことになる。1人当りの貯水量という指標は、この点に関して妥当性を持つ。

次に2番目の問題を考える。ここでは計画対象渇水規模を同一と仮定する。普通、ダムによって開発された水が年間を通じてダム貯留水に依存することはない。河川流況が悪化し、自流水から開発水量が取水できなくなった時だけ、洪水時に貯えられた水をダムから補給し、取水量確保が図られる。従って、計画対象渇水規模、さらには開発水量が同一のダム間でも、渇水時における河川自流水をどの程度開発水量に取り込むことができるかによって、ダム貯水量は変わってくる。例えば、同一河川に建設されたダム間では、一般に先に開発されたダムの方がより多くの河川自流水を開発水量に取り込むことができ、ダムによる補給水量が少なくてすむことから、単位開発水量当りの貯水量は後発ダムよりも小さくなる。そして、この開発水量と貯水量の関係は河川自流水の取水条件、ダム貯留・放流条件等に表わされるため、ダムの開発特性を比較する場合には、当該諸ダムに張り付けられた諸条件・運用ルールに関する理解、考慮が決定的に重要となる(伊藤, 1991; Twort, et al, 1994)。

ここではニューヨーク市の水源ダムの開発特性を見てみよう。ニューヨーク市の水源はハドソン川左岸支流のクロートン水系、右岸支流のキャッツキル水源地、さらにはデラウェア川上流域のダム群に貯留された水である。これらの開発水はダム湖から直接送水の形で市街地へ導水され、さらにデラウェア川水系のダムは下流への放流義務が課せられている(Weidner, 1974; 阿部, 1968b)。このようなニューヨーク市水源ダムの開発特性を上述の諸条件

から説明すると、ニューヨーク市水源ダムは、ダム下流域の河川流量に依存しない上に、ダム貯留・放流条件の自由度も決して大きくない中で、年間を通じてダム貯留水だけで都市の水消費を賄わなければならないダムとなる。従って、これらのダムの単位開発水量当りの貯水量は、下流域流量の調整を主目的としたわが国のダムと比較すれば、必然的に大きくならざるを得ない。つまり、ニューヨーク市とわが国諸都市の依存する水源ダムは、もともと開発特性を大きく異にするダムであり、両者を貯水量の大きさだけで比較することは、ダム開発の前提条件を無視することになり、意味をなさない。従って、式の分子である貯水量に関しても、1人当り貯水量という指標がその目的を達成するためには、この点に関するバイアスを取り除き、利水安全度の結果だけが反映するように修正される必要がある¹⁷⁾。

2 「わが国の水資源開発は1/10確率の安全性の下で行われている。それに比べて、他国は既往最大渇水から1/50確率と高い」について

この文章は各国の実際の計画目標を示しているに過ぎず、批判すべきものではない。従って、この安全率の違いが前節で見たような海外諸都市の1人当りダム貯水量を大きくする1つの適切な理由になっている。しかし、国内外の都市の渇水対応能力を検討する場合、次の諸点を考慮する必要があると、筆者は考えている。

1 番目は前節で見たように、ダムの利水安全度と都市の利水安全度は異なるという点である。わが国の主要都市の多くは、ダムの他に水源を持っている。従って、わが国の既存ダム計画が1/10確率という低い利水安全度の下で運用され、諸外国のダム計画に比べて渇水対応能力が低いことと、国内諸都市の実際の渇水対応能力が低いこととの関係は、当該都市がどの程度、水源をダムに依存しているかによって異なる。少なくとも、1994年異常渇水で明らかになっ

たことは、ダムへの依存率の高い地域ほど、渇水の影響が大きかったことであった(伊藤, 1995, 1996)。従って、わが国では水源構成が著しくダムに偏り、かつ水需給関係が逼迫し、しかもダムが枯渇した場合の緊急水源が用意されておらず、他利水団体との調整策も協議されていない都市を除けば、都市の利水安全度はダム依存率が低くなるにつれて、ダムから計算される値よりも高くなっていく¹⁸⁾。

次に考慮すべき問題は、異常渇水が発生した時の水不足の緊迫度と継続期間に関してである。ダムによって開発された水は、計画を超えた渇水状況が現れれば枯渇する。しかし、その場合でも国内主要河川には都市用水需要を賄うだけの流量が存在することから、都市周辺地域から水源となる水がなくなるわけではない。都市用水が河川自流水に水利権を設定していない場合は、調整等に手間どるであろうが、取水が不可能なわけではない。さらに農業用水の灌漑期間は春から秋の4ヶ月間に限られるため、都市用水の夏期渇水の場合、遅くとも10月初旬には渇水から抜け出すことができる¹⁹⁾。

これに対して、サンフランシスコ市では計画対象とする規模の渇水が訪れ、ダム貯水量が枯渇すると、近隣の水源を完全に失ってしまい、カリフォルニア州全域から広域的に水源を探してこななければならない。また、ロンドン市でもテムズ川の渇水流量で需要を賄うことはできず、ニューヨーク市では水質面で市民の間に拒否反応の強いハドソン川から緊急取水しなければならない。さらにこれらの都市は水源河川の河川流況や開発率の高さから、一度渇水に陥るとなかなか抜け出すことができず、渇水が年を越えることもある²⁰⁾。

つまり、比較対象の海外諸都市は一度渇水状況に陥ると、わが国の都市よりも渇水から抜け出すのに多くの時間を必要とし、しかも、その間、地域内で調整可能な水は量的に、また質的に乏しく、渇水の影響が都市水道さらには都市機能により大きな影響

を与える可能性が高い、と推測される。従って、これらの都市の事情からすれば、自らの都市機能を保ち続けるためには、ダム開発水の利水安全度を可能な限り高く設定する必要がある、その必要性はわが国の都市が依存するダムよりも高い場合が多い。計画対象渇水規模を見ていく場合、こうした渇水時における地域的な水利条件を考慮に入れる必要がある。

最後に海外諸都市の依存するダムの利水安全度が高くなる技術的・社会的背景について考えてみる。アメリカ合衆国を中心とした大陸諸国において、水源ダムの利水安全度が高い理由は、明らかに水源ダムの貯水規模の大きさにある。ニューヨーク市は水源ダムを多数建設して水量確保を図っており、その中には貯水量が3億 m^3 を超えるダムが複数存在する。サンフランシスコ市も主要水源であるヘッチヘッチ湖やチェリ湖の貯水容量は3億 m^3 を超える（阿部，1968b；斉藤，1979）。しかも、これらのダムはアメリカ合衆国で建設されたダムの中では、数多く存在する小さなダムの1つに過ぎない。

アメリカ合衆国等、大陸に建設されたダムの貯水量の大きさは主に地形上の理由による。さらに「新大陸」ではダム予定地における人間活動の相対的な薄さ加わって、ダム開発地点の獲得を容易にしたと考えられる。それに対して、わが国は河川勾配やダム建設地点の地形勾配が急であるため、どこにダムを造っても貯水容量は小さく、しかも山間部には非常に多くの人達が住んでいるため、開発可能地点の制約が大きい。こうした条件の違いを克服しようとすれば、アメリカ合衆国等に比べて桁の異なる数のダムを建設し、多くの人達を山から追い出し、河川全流路をダムによって階段状に改変しなければならない。それでもアメリカのダム貯水量に追いつくことはない。このように、アメリカ合衆国等のダム開発の論理とわが国における論理は、前提とする自然条件の違いから自ずと別のものにならざるを得な

い。今後の水資源対策はこうしたわが国の自然特性を十分考慮した上で、選択肢を考えていく必要があるのではないだろうか。

V おわりに

ー建設省のダム建設を推進する

説明論理の限界ー

以上、建設省によって説明されるダム建設推進の論理の問題点を個別に検討してきた。最後に全体の説明論理が持っている矛盾について述べておきたい。ここで気になるのは、個別論理間の整合性の問題である。

今回検討した個々の説明論理間で明らかに矛盾する例は、河川の水利用可能量の大きさと1人当たりダム貯水量の関係である。少なくとも、河川の水利用可能量が大きな河川では、わざわざダム等の流量調節施設を造らなくても、河川取水は可能である。一方、ダム建設が必要とされるのは、水需要量に比べて、計画対象渇水時の流量に欠ける河川の場合である。従って、両者は明らかに対立した指標となり、並置したままの説明では全体の説明論理に矛盾が生じてしまう。

この例が示すように、本稿で検討した建設省の説明論理は、全体として河川の自然特性やダムの開発特性と有機的に結びつけられたものになっていない。そして、わが国の水資源賦存状況やダム開発状況において、河川水の使い勝手の悪さやダム開発の遅れの側面が強調される場合にだけ、全ての論理が当てはまるようにできている。通常、こうした説明論理は、論理以前に答えの用意されている時につくられることが多い。ここで考えられるのは、建設省のダム建設を推進する説明論理には、はじめにダム建設が答えにあって、それを肯定してくれそうな論理、指標、事例地域が後から張り付けられた、という理解である。この理解が適切であるかどうかについては、さらに個別事業をめぐって提出されている論理

等の検討を必要とする。ここでは建設省の説明論理における個別論理間のつながりを、より平易な言葉で見えやすくしている文章を引用するにとどめる。

「日本での貯め方はまだまだ不十分です。年降水量の平均は、約1,750mmと世界の中では高い方なのですが、一人当りの降水量に直しますと、約5,450 m^3 /年/人と、世界平均の20%程度にしすぎません。都市用水等のためのダム貯留量は、東京が30 m^3 /人であるのに対して、梅雨や台風期の集中豪雨がなく、年間を通して平均的に雨が降るニューヨークで285 m^3 /人、サンフランシスコにいたっては527 m^3 /人もあるのです。

いざ渇水となった時の節水や洪水時の水防・避難も大切ですが、この国の人々が、水におびえることもなく、水に悩むこともなく生きていくためには、とにかく『水を貯めるっきゃない』のです。』²¹⁾

わが国の大都市では現実に数年に1回の割合でダムが枯渇するほどの渇水を経験している。従って、本稿で行った数々の批判にも拘わらず、わが国都市の利水安全度が諸外国の都市に比べて低いと考えるのが今のところ妥当であろう。しかし、これを事実として受け止めるためには、国内外で発生している渇水の内容・深刻さ、その発生原因(異常気象によるものなのか、水源整備の遅れによるものなのか)等の、さらなる明確化が必要とされる。例えば、木曽川水系は1980年代中頃から頻繁に渇水状況が発生し、利水安全度が低いと説明されることが多いが、発生した渇水のほとんどが渇水時に木曽川に流れていた自流水の水利調整によって対処可能であったことを考えれば、そうした渇水をも含めて木曽川水系の利水安全度が低いと結論づけるわけにはいかない。

筆者は本稿によって、異常渇水対策の必要がないと結論づけるつもりはない。逆に今後、異常渇水対

策の必要性は高くなっていくと考えている。また、地域によっては、ダム建設が対策として採用される可能性のあることも否定しない。しかし、異常渇水対策の選択はあくまでも、地域の水事情に合わせた形で偏見を持たずに行われることが大切である。このことは継続中のダムや河口堰計画にも当てはまる。たとえ事業が継続中のダムや河口堰計画が存在しよう、安易に異常渇水対策に含めるべきではない。それらはまず、当初の目的に照らして総決算される必要があるのであって、それは異常渇水対策の検討とは別に行われるべきである。こうした手続きのないまま、目的だけ変更された事業が対策に取り込まれていけば、異常渇水対策は大きく歪んだものになってしまうであろう。これは豊かな河川・水環境を守るとともに、よりよい河川・水環境を将来に残していく作業にとって、弊害ばかりが大きく、メリットは存在しない。

注

- 1) 高度経済成長期に都市用水部門を中心に発生した水需要の多くが浪費的水利用に支えられたものであり、水資源の有効利用等の策が取られれば、必ずしも新規水源を開発する必要はなかった、という見解については、森滝・内田(1996)を参照のこと。
- 2) 建設省による渇水対策の中でダムの占める位置づけは、建設省河川局(1994)、渡辺(1994)を見る限り、節水型社会システムの構築の後か、または並置された位置にある。しかし、具体的な施策の中で最も明確な目標が示されているのはダム建設である。一方、1996年に出された河川審議会答申では、さらに渇水対策に占めるダムの役割が後退し、他の対策が強調されている(河川審議会、1996)。しかし、こうした建設省の河川行政の方向転換とも呼ぶべき問題に対する評価は、現実の事業に反映された時に行われるべきものであるため、ここで

は評価の対象としない。

- 3) 例えば、徳山ダム計画の場合、利水対象者の1つである名古屋市が徳山ダムに設定した水利権 $6 \text{ m}^3/\text{sec}$ のうち、半分程度を返上し、建設省は返上分を渇水対策容量という形で処理する意向であることが、1996年10月10日の朝日新聞で報道された。これなどはダムの建設目的が変更しながらも、事業が存続してしまう典型例であると言えよう。
- 4) 地下へ浸透する水も、長い年月を経て、最終的には河川へ流出してくるものがほとんどであるため、ここでは流出量に含めて考える。
- 5) 蒸発散する水も植物の生育等において、大きな役割を果たしていることから、決して無駄な水ではない。農業等を考えた場合、降水量は重要な指標となる。しかし、農業等で有効化される蒸発散量を水資源範疇に含めて考えるのならば、その利用特性から、人口1人当たりよりも、単位面積当たりの降水量、つまり通常私達が使用している降水量の方が指標としては適切であろう。
- 6) わが国の水資源賦存量は、表2 (The World Resources Institute et al, 1996) の値と、わが国の政府機関の報告書 (国土庁長官官房水資源部編, 1996) の値の間で約30%の差があり、表2の方が大きな値を示す。この差が何に基づくかは不明であるが、本稿ではデータの統一性の点から、表2の値を用いた検討を行う。
- 7) アメリカ合衆国では1960年代、アラスカ州から、カナダ、アメリカ合衆国本土地域、さらにはメキシコに及ぶ地域を結び、巨大な水利システムの形成を目指した北アメリカ水資源・電力同盟 (The North American Water and Power Alliance (NAWAPA)) のような巨大流域変更型水資源開発計画が提起されたこともあった。しかし、自然保護運動の高まりやカナダの反対等によって、実現可能性は小さくなっている (Micklin, 1985)。
- 8) 世界で最も水資源の恵まれた国の1つと言われ

るカナダでさえ、同様の問題を抱えている。カナダの河川には世界の約9%の流量が存在すると言われている。しかし、カナダの水の60%は北へ向かって流れるのに対して、人口の90%と工業の主要部分はアメリカ合衆国国境から300km以内に分布している。従って、国土全体では膨大な水資源を有しているにも拘わらず、いくつかの地域では周期的に渇水を経験している (Sewell, 1985)。

- 9) この点で、高山 (1990) は利水目的においては、河況係数よりも最小流量の方が重要な意味を持つことを的確に指摘している。
- 10) 河川流量の時間的変動には、河川流量の季節変動 (1年間の短期的変動) と年を越える長期変動 (経年的変動) がある。従って、河況係数が小さく、河川流量の季節変動が少ない場合でも、長期変動が大きければ、河川の利用可能割合は小さい。わが国河川はテムズ川よりも長期変動が小さいと言われており、この点からの検討をさらに行う必要があろう。
- 11) ハドソン川の平均流量は日量4,920万 m^3 あり、量的には十分であるが、質的には海水侵入の影響を受けるため、問題が多い (阿部, 1968 a)。そのため、これまでは異常渇水時の緊急水源としての機能に限られていたが、近年、ハドソン川の水を恒常水源とする計画が現れている (The World Resources Institute et al, 1988)。
- 12) ニューヨーク市はこの他に日量13万 m^3 の地下水資源を持っている (阿部, 1968 b)。
- 13) 大橋 (1971) は、ルール地方がライン川ではなくルール川を主水源とする理由に、ルール川の方が標高が高いため自然流下方式を採用でき、主要都市に短距離であり、ポンプアップも低揚程ですむことと、ライン川よりも水質が良好で汚濁度が少ないことを挙げている。
- 14) テキサス州の計画するテキサス水計画 (The Texas Water Plan) は、ミシシッピ川下流部を

- 水源とする大規模導水を含んだ計画であるが、経済面、環境面で大きな批判を受け、計画は修正を余儀なくされている。現在、ミシシッピ川からの導水計画に焦点は当てられていない (Micklin, 1985)。
- 15) 1995年、堰本体の運用が始まった長良川河口堰の開発水量も、河口堰が貯留機能を持たないために、名古屋圏の1人当たりダム貯水量の増加に寄与していない。
- 16) 東京都、名古屋圏とも『水道統計』より1989年の値を採用した。
- 17) この他にダム貯水容量の解釈をめぐる問題がある。日本には工業用水道の水源地が単独でダムに確保されているが、アメリカ合衆国には工業用水道システムがないため、都市水道が工業用水目的に使用される比率が高くなりがちである。サンフランシスコ市の場合、全水道使用量のうち、54.9% (1980年) が商工業目的に使用されている (生活目的35.1%)。従って、サンフランシスコ市の商工業用水比率の高さが工業用水使用量の大きさによるものならば、上水道が工業用水道の役割を一部果たしていることになるため、総貯水量から相当分を割り引く必要がある。
- 18) 中澤 (1990) は、地下水を水源とした場合、耐渇水性が向上することを指摘している。
- 19) 1994年異常渇水の際には、全国でこうした調整が行われた。農業水利団体の河川自流水に依存した水利権や建設省の権限内にある河川維持用水は、膨大な水量を渇水流量に確保しているため、ほとんどの地域では、この調整によって異常渇水を乗り切ることができる。しかし、わが国でも既に水資源開発が高度に進み、都市用水利用率の高い河川や、秋雨期の流量増加に期待できない河川地域では、渇水流量の調整だけで対応できない場合や、農業用水の灌漑期間終了後も渇水が継続する場合がある。
- 20) 対象都市の渇水の実態報告や対策を紹介したも

のに、阿部 (1968 a, b), 大村 (1978), 斉藤 (1979), 安部 (1981), 中山・小宮 (1993) 等がある。

- 21) 論文執筆者は当時、建設省河川局開発課課長であり、建設省の見解を最も正確に理解する1人であると考えられる (青山, 1994)。

参考文献

- 青山俊樹 (1994) : 水と国土 (水循環三則). ダム日本, 600, 12-14.
- 安芸皎一・多田文男監修 (1966) : 『水資源ハンドブック』朝倉書店, 659p.
- 阿部庄次郎 (1968 a) : ニューヨーク大都市圏の水資源問題 (文献抄録). 水道協会雑誌, 405, 84-85.
- 阿部庄次郎 (1968 b) : 合衆国北東部の水危機がニューヨーク市の水道に及ぼす影響 (文献抄録). 水道協会雑誌, 405, 85-88.
- 安部卓見 (1981) : 水危機に備えるニューヨーク市 (文献抄録). 水道協会雑誌, 567, 198-199.
- 伊藤達也 (1991) : 長良川河口堰と渇水問題. 金城学院大学論集社会科学編, 33, 83-112.
- 伊藤達也 (1993) : 水資源論における流域圏概念の展開. 金城学院大学論集社会科学編, 35, 97-132.
- 伊藤達也 (1995) : 1994年渇水の実態: 木曽川. 水資源・環境研究, 8, 23-35.
- 伊藤達也 (1996) : 愛知用水と木曽川水利構造の検討. 日本福祉大学知多半島総合研究所編『知多半島の歴史と現在 No.7』校倉書房, 131-56.
- 内田駿一郎 (1993) : 水源枯渇の国々での水源対策—下水処理水の再生利用, 海水淡水化を中心として—, 工業用水, 413, 2-39.
- 大橋文雄 (1971) : 諸外国における水資源開発. 水道協会雑誌, 436, 115-120.
- 大村 寛 (1978) : イングランドとウェールズにおける1975-1976年の旱ばつ. 水利科学, 123, 97-112.
- 河川審議会 (1996) : 『答申—21世紀の社会を展望した今後の河川整備の基本的方向について—』27p.

- 木下一兵(1984)：アメリカ合衆国の水道事情調査報告(Ⅲ)－カナダ・モントリオールを含む－。水道協会雑誌, 600, 42-58.
- 建設省河川局(1994)：総合的な渇水対策の推進。河川, 578, 13-15.
- 建設省河川局開発課(1994)：21世紀に向けた河川総合開発事業。ダム日本, 591, 19-28.
- 建設省河川局河川計画課(1971)：『欧米各国の水経済対策(第一巻)』422p.
- 建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支社(1995)：『長良川河口堰説明資料(円卓会議資料)』22p+付属資料.
- 国土庁長官官房水資源部編(1996)：『日本の水資源(平成8年度版)－水資源の有効利用－』大蔵省印刷局, 374p.
- 国立天文台編(1988)：『理科年表 昭和64年』丸善, 1037p.
- 小林康彦(1988)：先進国における水資源管理－カナダ, 米国, 英国, フランス, 西ドイツ, オーストラリア, E Cにみる水資源管理の基本理念－。水道協会雑誌, 641, 47-67.
- 斉藤博康(1979)：外国における渇水時の対策。水道協会雑誌, 538, 52-61.
- 阪口豊・高橋裕・大森博雄(1995)：『新版日本の自然3 日本の川』岩波書店, 265p.
- 杉尾捨三郎(1991)：『カリフォルニア水戦争物語』山海堂, 259p.
- 高橋裕・阪口豊(1980)：日本の川。阪口豊編『日本の自然』岩波書店, 219-230.
- 高山茂美(1990)：河川。市川正巳編『総観地理学講座8 水文学』朝倉書店, 71-108.
- 中澤弉仁(1990)：『水資源の科学』朝倉書店, 158p.
- 中山修・小宮朋弓(1993)：欧米諸国の渇水対策。河川, 567, 108-112.
- 二宮書店(1996)：『データブックオブザワールド 1996年版』418p.
- 肥田 登(1979)：西ドイツ, ルール(Ruhr)川流域の水管理。水利科学, 129, 104-126.
- 森滝健一郎・内田和子(1996)：『地域の水環境保全と利水との関連－とくに広域水道からの用水導入に伴う水環境の変化について－』文部省科学研究費補助金(一般研究C)研究(研究代表者森滝健一郎, 課題番号05680129)報告書, 56p.
- レスター・R・ブラウン編著／浜中裕徳監訳(1996)：『[ワールドウォッチ]地球白書1996-97』ダイヤモンド社, 393p.
- 渡辺和足(1994)：渇水対策の新たな展開。河川, 580, 75-80.
- Kilot N. (1986)：Man's impact on river basins : an Israel case study. *Applied Geography*, 6, 163-178.
- Micklin P.P. (1985)：Inter-basin water transfers in the United States. Golubev G.N. and Biswas A.K. eds : *Large scale water transfers : emerging environmental and social experiences*. The United Nations Environment Programme by Tycooly Publishing Limited, 37-65.
- Quinn F. (1968)：Water transfers : must the American west be won again?. *The Geographical Review*, 58-3, 108-132.
- Sewell W.R.D. (1985)：Inter-basin water diversions : Canadian experiences and perspectives. Golubev G.N. and Biswas A.K. eds : *Large scale water transfers : emerging environmental and social experiences*. The United Nations Environment Programme by Tycooly Publishing Limited, 7-35.
- The World Resources Institute and The International Institute for Environment and Development In collaboration with The United Nations Environment Programme,

- (1988) : *World resources 1988-89*. Basic Books, Inc.
- The World Resources Institute, The United Nations Environment Programme, The United Nations Development Programme and The World Bank, (1996) : *World resources 1996-97*. Oxford University Press.
- Twort A.C, Law F.M, Crowley F.W, and Ratnayaka D.D. (1994) : *Water supply*. Edward Arnoldm, 511p, *fourth edition*.
- Weidner C.H. (1974) : *Water for a city : A history of New York city's problem from the beginning to the Delaware river system*. Rutgers University Press, 339p.